

на материалы, имеющие более низкий коэффициент теплопроводности – хромитопериклазовый термостойкий (ХПТ) огнеупор и муллитокремнеземистый огнеупорный войлок (МКРВ).

Результаты расчета показали, что потери в окружающее пространство при замене материалов составят 13,94 % (6 985,12 МДж/ч), из которых 78,42 % (5 477,94 МДж/ч) теплопроводностью через кладку печи. Данное мероприятие позволяет сократить расход удельного топлива на 8,88 %.

Список использованных источников

1. С.С. Набойченко, Н.Г. Агеев, А.П. Дорошкевич и др. Процессы и аппараты цветной металлургии: учебник для вузов. – Екатеринбург: УГТУ, 1997. 648 с.
2. П.А. Козлов. Вельц-процесс. – М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2002. – 176 с.
3. Группа Магнезит [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://magnezit.ru/ru/products/non-ferrous/horizontal-convervor/data/> – свободный. – Рус.

УДК 621.785

Е. В. Полевой

АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат»,
г. Новокузнецк, Россия

ВНЕДРЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ЗАКАЛКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛА ПРОКАТНОГО НАГРЕВА

Аннотация

В статье представлены результаты исследований, выполненных в ходе разработки и промышленного освоения технологии дифференцированной термической обработки воздухом железнодорожных рельсов с использованием тепла прокатного нагрева. Работа выполнена в условиях АО «ЕВРАЗ ЗСМК» в период реконструкции рельсового производства. В ходе работы исследовано влияние химического состава, режимов пластической деформации и термической обработки на положение точек полиморфного превращения, построены термокинетические диаграммы сталей опытного химического состава. Исследованы скорости охлаждения по сечению головки рельсов в зависимости от параметров термообработки. Определены рациональный химический состав и режимы термической обработки. Проведены эксперименты по термической обработке рельсовых проб непосредственно после прокатки рельсов. По результатам теоретических и лабораторных данных разработаны рекомендации, для промышленного внедрения технологии дифференцированной закалки. Проведенные промышленные испытания показали высокое качество рельсовой продукции по всем параметрам соответствующей требованиям нормативно-технической документации.

Ключевые слова: рельсы, термическая обработка, микроструктура, механические свойства, дифференцированная термообработка, химический состав.

Abstract

In article results of researches executed are presented during working out and industrial development of technology of the differentiated thermal processing by air of railway rails with use of heat of rolling heating. Work is executed in the conditions of joint-stock company «EVRAZ ZSMK» in reconstruction of rail manufacture. During work influence of a chemical compound, modes of plastic deformation and thermal processing on position of points of polymorphic transformation is investigated, thermokinetic diagrammes of steels of a skilled chemical compound are constructed. Speeds of cooling on section of a head of rails depending on heat treatment parametres are investi-

gated. The rational chemical compound and modes of thermal processing are defined. Experiments on thermal processing of rail tests of rails directly after proskating rinks are made. By results of the theoretical and laboratory data, recommendations are developed for industrial introduction of technology of the differentiated training. The conducted industrial tests have shown high quality of rail production on all parametres of the specifications and technical documentation corresponding to requirements.

Keywords: rails, heat treatment, microstructure, mechanical properties, differentiated thermal processing, chemical composition

Одним из наиболее эффективных путей увеличения эксплуатационной стойкости рельсов является термическая обработка. По данным [1; 2] проведение термической обработки позволяет повысить эксплуатационную стойкость рельсов в 1,5 раза. По данным [3] затраты по текущему содержанию пути при использовании термоупрочненных рельсов уменьшаются на 35 % относительно нетермоупрочненных. До недавнего времени на отечественных предприятиях для термического упрочнения рельсов использовали технологию объёмной закалки в масле. Данная технология была разработана в 60-х годах прошлого века и, несмотря на ряд недостатков, позволила на тот момент занять лидирующие позиции в производстве рельсов [4; 5]. В настоящее время наибольшее распространение получили современные методы термической обработки рельсов, лишенные недостатков объёмной закалки. К общим чертам, современных линий по термической обработке рельсов можно отнести следующее [6; 7]:

1. Использование пожаробезопасных и экологически чистых закалочных сред типа воздуха, водо-воздушных смесей, водных растворов полимеров, взамен канцерогенного, легковоспламеняющегося масла;
2. Производство длиномерных рельсов, что обусловлено развитием высокоскоростного движения и стремлением к уменьшению количества сварных стыков;
3. Повышение твёрдости и прочности рельсов, в том числе за счёт применения легирующих элементов.
4. Получение в результате термической обработки дифференцированных по сечению уровней свойств, обусловленных различными скоростями охлаждения элементов профиля (головки, шейки, подошвы) рельса.
5. Снижение, в результате дифференцированной закалки уровня внутренних остаточных напряжений, которые, как известно [8; 9], могут значительно снижать в условиях циклических знакопеременных нагрузок их циклическую долговечность, трещиностойкость и живучесть.

Одной из наиболее перспективных охлаждающих сред является воздух. Применение воздуха в качестве закалочной среды обеспечивает высокую стабильность, контролируемость, технологичность, экологичность и безопасность процесса закалки [10–12].

В 2012-2013 гг. на АО «ЕВРАЗ ЗСМК» была проведена масштабная реконструкция рельсового производства, включающая отказ от технологии объёмной закалки рельсов в масле и внедрение технологии дифференцированной закалки воздухом с использованием тепла прокатного нагрева. В настоящей работе представлены результаты внедрения новой технологии термической обработки с использованием экологически чистой охлаждающей воздушной среды.

Как известно [10; 11], воздух обладает более низкой охлаждающей способностью относительно масла, поэтому для обеспечения необходимого уровня механических свойств и твёрдости, предъявляемых к современным рельсам в химический состав рельсовой стали необходимо вводить стабилизирующие аустенит элементы. Наиболее распространенными для этих целей являются традиционные для перлитных сталей хром и марганец. Проведенные исследования [13] показали, что для формирования однородной перлитной структуры, обеспечивающей наиболее высокий уровень эксплуатационной стойкости [14; 15], рельсовая сталь, с близким к эвтектоидному содержанием углерода, должна иметь содержание хрома на уровне 0,45 %, марганца ~ 0,80 %, а также кремния порядка 0,55 %.

Исследование влияния параметров давления воздуха на скорость охлаждения по сечению головки рельса типа Р65 показало, что с увеличением давления скорость охлаждения меняется в следующей зависимости:

- на расстоянии 10 мм от поверхности катания:

$$V_{\text{охл } 10} = 8 \times 10^{-6}(P_{\text{ос}})^2 + 0,0032 \times P_{\text{ос}} + 1,4279; \quad (1)$$

- на расстоянии 22 мм от поверхности катания:

$$V_{\text{охл } 22} = 3 \times 10^{-6}(P_{\text{ос}})^2 + 0,0034 \times P_{\text{ос}} + 0,7264, \quad (2)$$

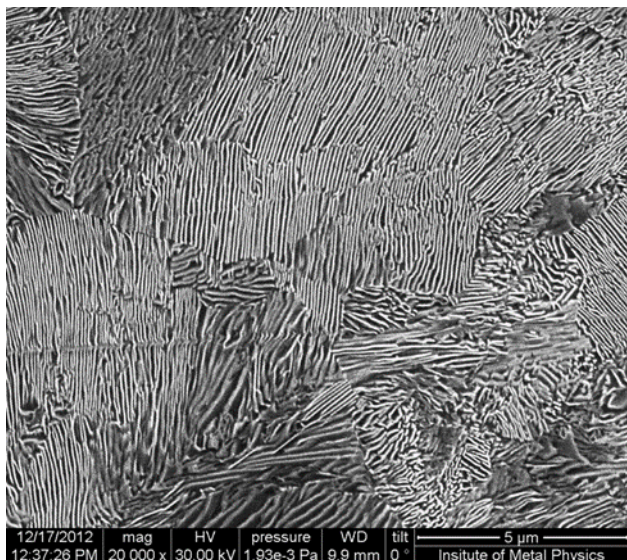
где $V_{\text{охл } 10}$ – скорость охлаждения на расстоянии 10 мм от ПКГ;

$V_{\text{охл } 22}$ – скорость охлаждения на расстоянии 22 мм от ПКГ;

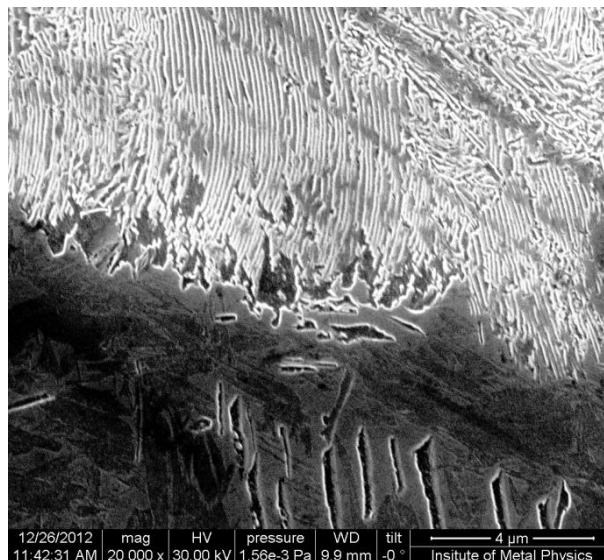
$P_{\text{ос}}$ – давление охлаждающей среды.

Для представленных выше выражений (1) и (2) отмечена высокая величина достоверности аппроксимации ($R^2=1$), что позволяет прогнозировать с высокой достоверностью скорость охлаждения рельсового металла на указанных глубинах при больших давлениях.

Исследование микроструктуры образцов опытного металла указанного выше химического состава, охлажденного из аустенитной области с различными скоростями показало, что однородная микроструктура тонкопластинчатого мелкодисперсного перлита (рис. 1а) формируется при охлаждении со скоростью 1-3 град/с. С повышением скорости охлаждения в микроструктуре металла возникают локальные участки мартенсита бейнита (рис. 1б), недопустимые по ГОСТ Р 51685.



а)



б)

Рис. 1. Микроструктура опытного металла охлажденного со скоростью 3 град/с (а) и 5 град /с (б)

Определение рационального химического состава и исследование скоростей охлаждения по сечению рельсовых проб при закалке водухом позволили ограничить условия проведения экспериментов и существенно сократить продолжительность промышленного освоения и внедрения новой технологии дифференцированной закалки рельсов.

На основании проведенных опытов в 2013 г. была произведена первая в России промышленная партия дифференцированно термоупрочненных рельсов категории ДТ350, имеющая следующий уровень свойств: предел текучести ($\sigma_{0,2}$) – $850 \div 950$ Н/мм², предел прочности (σ_b) – $1250 \div 1300$ Н/мм², относительное удлинение (δ) – $10,5 \div 12,5$ %, относительное сужение (ψ) – $30 \div 38$ %, ударная вязкость (KCU_{+20}) – $0,20 \div 0,35$ МДж/м², (KCU_{-60}) – $0,10 \div 0,28$ МДж/м², твердость на ПКГ 373–393 НВ равномерно снижается по сечению головки, в шейке составляет – 313–339 НВ, в подошве 341–359 НВ.

По сравнению с выпускаемыми до реконструкции рельсобалочного производства объемнозакаленными рельсами категории «В» новые рельсы категории ДТ350 отличаются несколько меньшими значениями пластичности и ударной вязкости. Указанные отличия в

свойствах объясняются различиями в микроструктуре (рис.2). Микроструктура в головке дифференцированно термоупрочненных рельсов представляет собой тонкопластинчатый перлит (сорбит закалки) с незначительными выделениями феррита по границам зерен. По сравнению с объемнозакалёнными рельсами дифференцированно термоупрочненные рельсы имеют более крупное зерно, оцениваемое 7–8 номером шкалы ГОСТ 5639-82, меньшее количество структурно-свободного феррита (менее 0,01%), в то время как в объемнозакаленных рельсах эта величина достигает 0,05-0,06%, а величина зерна оценивается 9–12 номером. Межпластиночное расстояние в объемнозакаленных рельсах составляет 85–100 нм, в то время как в рельсах закаленных с прокатного нагрева, в зависимости от режима закалки эта величина составляет от 105 до 160 нм.

Подобранные режимы закалки головки и подстуживания подошвы обеспечили незначительную искривленность рельсов после охлаждения на холодильнике.

Измерение остаточных напряжений с использованием тензометрических датчиков наклеенных по периметру профиля рельсов, выполненное в соответствии с методикой изложенной в работе [16], показало что после правки рельсы имеют довольно низкий уровень остаточных напряжений – величина их не превышает +125 и +190 МПа соответственно в головке и подошве рельсов, что меньше аналогичных показателей рельсов японского производства и меньше значений напряжений в подошве объемнозакаленных рельсов отечественного производства.

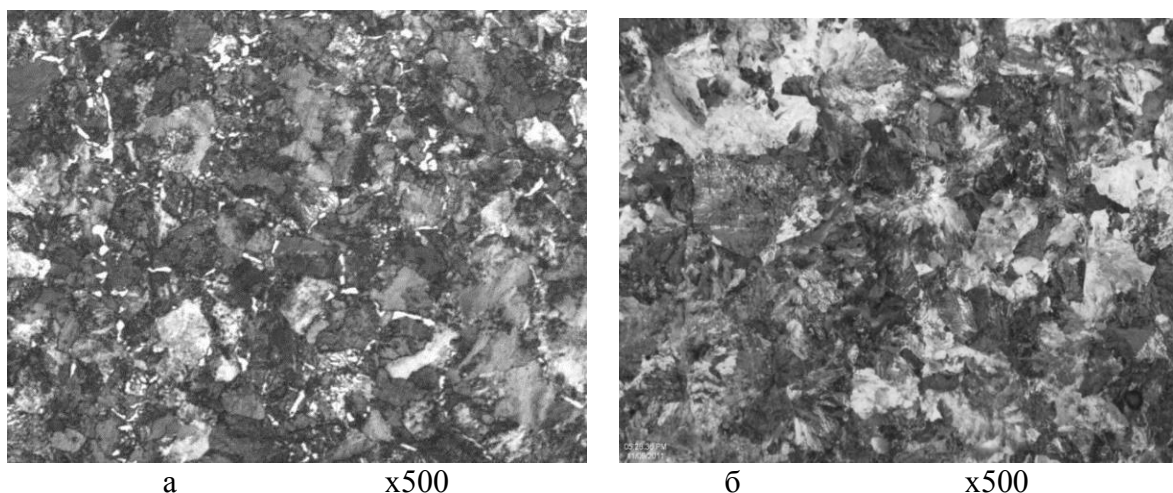


Рис. 2. Микроструктура объёмно (а) и дифференцированно (б) термоупрочненных рельсов

Заключение

Разработанные по результатам научно – исследовательских работ рациональные химический состав и режимы термической обработки обеспечили в ходе промышленного освоения технологии дифференцированной закалки достижение высокого комплекса свойств. По результатам стендовых испытаний первой в России партии дифференцированно термоупрочненных рельсов категории ДТ350 производства АО «ЕВРАЗ ЗСМК» в условиях ЭК ВНИИЖТ установлено, что значения трещиностойкости и предела усталостной выносливости превосходят известные уровни японских рельсов и существенно выше полученных при испытании последней сертификационной партии объемнозакалённых рельсов категории Т1. После проведения стендовых испытаний партия рельсов ДТ350 была уложена на экспериментальное кольцо ВНИИЖТ для проведения полигонных испытаний. К настоящему времени наработка составила свыше 750 млн т брутто.

Список использованных источников

1. Д.К. Нестеров, Н.Ф. Левченко, В.Е.Сапожков, А.И. Шевченко. Разработка состава стали и способа термообработки рельсов для работы в тяжёлых условиях эксплуатации // Статья в сборнике Технология производства железнодорожных рельсов и колёс. Харьков 1989. С. 23–27.
2. В.А. Рейхарт. Можно ли узнать соответствуют рельсы конкретным условиям или нет // Путь и путевое хозяйство. № 8. 1994. С. 10–11.
3. Сравнение затрат жизненного цикла обычных и термоупрочненных рельсов //Железные дороги мира. 2006. №3. С. 71–74. G.Girsch et al. Railway Gazette International, 2005, # 9, p. 549–551.
4. Юнин Г.Н. О техническом перевооружении и реконструкции рельсового производства // Сборник докладов по материалам юбилейной рельсовой комиссии. - Новокузнецк: ОАО «Новокузнецкий полиграфкомбинат». 2002. С. 7–10.
5. Н.А. Козырев, В.В. Павлов, Л.А. Годик, В.П. Дементьев. Железнодорожные рельсы из электростали.- Новокузнецк. 2006. 300 с.
6. А.И. Борц, Е.А. Шур, В.М. Федин. Перспективы развития рельсового производства в России //Статья в сборнике научных трудов «Улучшение качества и условий эксплуатации рельсов и рельсовых скреплений» (по материалам заседания некоммерческого партнерства «рельсовая комиссия»).- Екатеринбург: ОАО «УИМ». 2011. С. 94–103.
7. Норберт Франк. Инновационные направления в развитии рельсовой продукции //Статья в сборнике научных трудов «Улучшение качества и условий эксплуатации рельсов и рельсовых скреплений» (по материалам заседания некоммерческого партнерства «Рельсовая комиссия»).- Санкт-Петербург: ОАО «УИМ», 2014. С. 121–125.
8. Е.А. Шур, А.Д. Конюхов. Влияние остаточных напряжений в закалённых рельсах на возникновение и распространение усталостных трещин при статическом изгибе // Статья в сборнике Труды ЦНИИ МПС, Выпуск 491, 1973 г. С. 29–37.
9. А.И. Борц. Исследования инновационной рельсовой продукции и перспективы её дальнейшего развития //Статья в сборнике научных трудов «Улучшение качества и условий эксплуатации рельсов и рельсовых скреплений»(по материалам заседания некоммерческого партнерства «Рельсовая комиссия»).- Санкт-Петербург: ОАО «УИМ», 2014. С. 107–121.
- 10.В. Люты. Закалочные среды: Справ. Изд., Под ред. Масленкова С.Б. /Пер. с польского Челябинск: Металлургия, Челябинское отделение. 1990. – 192 с.
- 11.В.В. Павлов. Перспективные технологии тепловой и термической обработки в производстве рельсов / В.В. Павлов, М.В. Темлянцев, Л.В. Корнева, А.Ю. Сюсюкин. – М.: Теплотехник, 2007. – 280 с.
- 12.В.В. Павлов. Выбор технологических параметров термической обработки рельсов //Статья в сборнике научных трудов «Улучшение качества и условий эксплуатации рельсов и рельсовых скреплений»(по материалам заседания некоммерческого партнерства «рельсовая комиссия»).- Екатеринбург: ОАО «УИМ», 2008. С. 112–135.
- 13.К.В. Волков, Е.В. Полевой, М.В. Темлянцев, О.П. Атконова, А.М. Юнусов, А.Ю. Сюсюкин. Моделирование воздушоструйной закалки с печного нагрева железнодорожных рельсов //Вестник СибГИУ . № 3 (9). 2014. С.17–23.
- 14.Добужская А.Б., Галицын Г.А., Сырейщикова В.И. Исследование структуры рельсов с разной стойкостью к образованию контактно-усталостных дефектов // Сб. научных трудов. Влияние свойств ме-таллической матрицы на эксплуатационную стойкость рельсов. – Екатеринбург: ГНЦ РФ ОАО «УИМ». 2006. С. 64–81.
- 15.Шур Е.А. Влияние структуры на эксплуатационную стойкость рельсов //Сб. научных трудов. Влияние свойств металлической матрицы на эксплуатационную стойкость рельсов. – Екатеринбург: ГНЦ РФ ОАО «УИМ». 2006. С. 37–64.
- 16.А.И. Борц, Е.А. Шур, В.А. Рейхарт, Ю.А. Базанов. Результаты испытаний рельсов, подвергнутых дифференцированной закалке с прокатного нагрева, влияние особенностей

УДК 62.403.3

С. А. Проданов, Г. В. Воронов

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

ОСОБЕННОСТИ ДВИЖЕНИЯ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ В НАДФУРМЕННОЙ ЗОНЕ ПЕЧИ ВАНЮКОВА

Аннотация

В работе представлены результаты расчета траекторий движения потоков кислородно-воздушной смеси (КВС) в надфурменной зоне ванны рабочего пространства печи Ванюкова. Расчет газодинамики в надфурменном слое выполнен с использованием программы Solid Works Flow Simulation при начальных граничных условиях соответствующих цеховым, для сопла Лаваля и цилиндрического.

Ключевые слова: печь Ванюкова, фурма КВС, цилиндрическое сопло, сопло Лаваля, шихта, концентрат, шлак, штейн, кислород, медь, дымовые газы.

Abstract

The paper presents the results of calculating the trajectories of flows of oxygen-air mixture (OAM) in the above of firms on workspace in Vanyukov furnace. Calculation gas dynamics in the above of firms made using Solid Works Flow Simulation software for the initial boundary conditions of the relevant departments, for cylindrical and Laval nozzles.

Keywords: furnace of Vanyukov, lance OAM, cylindrical nozzle, Laval nozzle, charge, concentrate, slag, matte, oxygen, copper fumes.

Автогенный способ плавки сульфидных концентратов и других вторичных медьсодержащих материалов основан на использовании теплоты экзотермических реакций окисления сульфидов шихты и реакций шлакообразования. Следует отметить многостадийность и некоторую последовательность в прохождении реакций окисления сульфида железа (FeS) происходит с образованием (FeO), который в дальнейшем взаимодействует с кварцем (SiO_2) (при температуре выше 1250°C и при наличии устойчивого концентрата. Несоблюдение отмеченных условий приводит к переокислению FeO и образованию магнетита (Fe_2O_4). Образование магнетита повышает вязкость шлака и приводит к увеличению механических потерь меди. Снизить его содержание в шлаке возможно за счет взаимодействия магнетита с сульфидными в присутствии кварца и образований фэйолита (2FeOSiO_2). Потери меди будут тем выше, чем больше в шлаке содержится оксидов железа.

Надфурменная зона – это основная зона тепло и массообмена в рабочем пространстве печи Ванюкова. В подфурменной зоне происходят в основном процессы разделения на шлак и штейн с последующим продвижением их в сифон шлака и штейна соответственно. На рисунке 1 представлена схема печи Ванюкова.

Горизонтально расположенные фурмы установлены по 23 штуки на боковых стенах печи напротив друг друга. Их оси условно разделяют ванну печи на две зоны надфурменную и подфурменную. В фурмах установлены цилиндрические сопла, через которые в слой среды подают КВС. В период длительной эксплуатации фурм с цилиндрическими соплами были выявлены некоторые отклонения от начального режима их работы. Причиной возникновения подобных ситуаций служит интенсивное налипание расплава на торцевую поверхность фурмы и сопла. Возникновение настывов приводит к уменьшению расхода КВС, непредсказуемой деформаций скоростного поля потока и сокращению срока службы фурмы. Скорость